

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4666967号
(P4666967)

(45) 発行日 平成23年4月6日(2011.4.6)

(24) 登録日 平成23年1月21日(2011.1.21)

(51) Int.Cl. F I
HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343
HO 1 S 5/183 (2006.01) HO 1 S 5/183

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-211664 (P2004-211664)	(73) 特許権者	000006747
(22) 出願日	平成16年7月20日 (2004.7.20)		株式会社リコー
(65) 公開番号	特開2006-32780 (P2006-32780A)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(43) 公開日	平成18年2月2日 (2006.2.2)	(74) 代理人	100070150
審査請求日	平成19年6月28日 (2007.6.28)		弁理士 伊東 忠彦
		(72) 発明者	佐藤 俊一 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内
		(72) 発明者	高橋 孝志 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内
		(72) 発明者	上西 盛聖 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子、面発光型半導体レーザ、面発光型半導体レーザアレイ、光送信モジュール、光送受信モジュール及び光通信システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒素(N)と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、

前記下層障壁層及び上層障壁層は、前記下層障壁層及び上層障壁層の組成が、少なくとも、GaNAs、GaNPAs、GaInNAs、GaInNPAs、GaNAsSb、GaNPaSsb、GaInNAsSb、GaInNPAsSbの何れか一つであり、かつ、前記上層障壁層のN組成が前記下層障壁層のN組成よりも大きい、ことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】

前記活性層は、多重量子井戸構造からなり、最下層となる量子井戸層の下層に形成される下層障壁層のN組成より、最上層となる量子井戸活性層の上層に形成される上層障壁層のN組成が大きいことを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】

前記量子井戸活性層は、圧縮歪を有し、
前記障壁層は、引っ張り歪を有する、
ことを特徴とする請求項1又は2記載の半導体発光素子。

【請求項4】

当該半導体発光素子は、前記活性層の上層及び下層に上層反射鏡及び下層反射鏡が設けられた共振器構造を有する面発光型半導体レーザであることを特徴とする請求項1ないし

3の何れか一記載の半導体発光素子。

【請求項5】

GaAs基板上に、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層と、当該活性層の上層及び下層に設けられた上層反射鏡及び下層反射鏡を含む共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、

前記下層障壁層及び上層障壁層は、前記下層障壁層及び上層障壁層の組成が、少なくとも、GaNA_s、GaNPAs、GaInNA_s、GaInNPAs、GaNA_sSb、GaNPAsSb、GaInNA_sSb、GaInNPAsSbの何れか一つであり、前記上層障壁層のN組成が前記下層障壁層のN組成よりも大きく、かつ、前記反射鏡と前記活性層との間のスペーサ層は主にGaAsよりバンドギャップの大きい材料からなる、ことを特徴とする面発光型半導体レーザ。

10

【請求項6】

前記GaAsよりバンドギャップの大きい材料は、GaInP(A_s)又はAlGaAsであることを特徴とする請求項5記載の面発光型半導体レーザ。

【請求項7】

請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザが同一基板上に複数個配列させて搭載されていることを特徴とする面発光型半導体レーザアレイ。

【請求項8】

請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備えることを特徴とする光送信モジュール。

20

【請求項9】

請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える光送受信モジュール。

【請求項10】

請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備えることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、半導体発光素子、面発光型半導体レーザ、面発光型半導体レーザアレイ、光送信モジュール、光送受信モジュール及び光通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネットの爆発的普及に見られるように、扱われる情報量が飛躍的に増大しており、今後さらに加速すると考えられる。このため、幹線系のみならず、各家庭やオフィスといった加入者系やLAN(Local Area Network)などのユーザに近い伝送路、さらには各機器間や機器内の配線にも光ファイバが導入され、光による大容量情報伝送技術が極めて重要となる。

【0003】

40

このような光源として、シリカファイバの伝送ロスが小さく、整合性が良い1.3μm帯、1.55μm帯の半導体レーザが必要であり、ユーザに近い領域で普及させるためには、低コスト通信システムであることが絶対条件である。

【0004】

1.3μm帯、1.55μm帯の波長帯では、InP基板上的材料系が一般的であり、端面発光型レーザでは実績がある。しかし、この従来長波長帯半導体レーザでは、環境温度が室温から80になると、動作電流が3倍にも増加するという大きな欠点を持っている。従って、冷却素子を使わない低コストシステムを実現するために、温度特性の良好な長波長帯半導体レーザの開発が極めて重要である。温度特性が悪い主な理由は伝導帯バンド不連続が小さいために電子がオーバーフローし易く、これの温度依存性が大きいため

50

である。

【0005】

【特許文献1】特開平6-37355号公報

【特許文献2】特開2000-332363号公報

【特許文献3】特開2002-118329号公報

【特許文献4】特開平10-126004号公報

【特許文献5】特開平10-145003号公報

【特許文献6】特開2004-186484号公報

【非特許文献1】Jpn. J. Appl. Phys. Vol.35 (1996) pp.1273-1275

【非特許文献2】Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39 (2000) pp.3403-3405

【非特許文献3】IEEE Photon. Technol. Lett. Vol.12 (2000) pp.125-127

【非特許文献4】Electron. Lett. Vol.38, (2002) pp277-278

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

最近、GaAs基板上に1.3 μ m帯の半導体レーザを形成できる材料系が注目され、(Ga)InAs量子ドット、GaAsSbやGaInAs(例えば、特許文献1参照)が研究されている。特にGaInAsは、レーザ特性の温度依存性を極めて小さくすることができる材料として注目されている。なお、GaInAs系材料とは、P, Sb, Al等の他のIII-V族元素を含んでいる場合もある。

【0007】

GaInAsは、窒素(N)と他のV族元素とを含んだIII-V族混晶半導体である。即ち、GaInAsは、GaAsより格子定数が大きいGaInAsに窒素(N)を添加することで格子定数をGaAsに格子整合させることが可能であり、更に、バンドギャップエネルギーが小さくなり、1.3 μ m, 1.55 μ m帯での発光が可能な材料である。

【0008】

例えば、非特許文献1では、GaInAsのバンドラインナップが計算されている。GaInAsは、窒素(N)の添加によりバンドギャップエネルギーが小さくなるが、伝導帯と価電子帯ともにエネルギーが下がり、GaInP, AlGaAs, GaAs等のGaAs格子整合系材料に対して伝導帯のバンド不連続が極めて大きくなり、このため、高特性温度半導体レーザが実現できると予想されている。実際に、In組成10%のとき窒素組成は約3%で1.3 μ m帯を形成できるが、窒素組成が大きいほど閾値電流密度が急激に上昇するという問題がある。

【0009】

図8は、本発明者が実験的に求めた閾値電流密度の窒素組成依存性を示す図であり、横軸は窒素組成割合(%)を示し、縦軸は閾値電流密度を示している。図8に示すように閾値電流密度が窒素組成増加に伴って急激に上昇する理由は、GaInAs層の結晶性が窒素組成増加に伴い劣化するためである。このため、In組成を大きくして窒素組成を少なくする方法が取られており(例えば、特許文献2, 特許文献3参照)、基板に対して2%程度以上と大きな圧縮歪を有したGaInAs系量子井戸活性層が用いられている。これにより、半導体レーザの閾値電流密度が1kA/cm²以下の低い値であって、かつ、環境温度が室温から80℃になっても動作電流がわずかに1.3倍にしか増加せず、特性温度が200Kを越える良好なレーザが報告されている(例えば、非特許文献2参照)。なお、障壁層にはGaAs層が用いられている。圧縮歪みを有するGaInAs系量子井戸活性層を用いた場合、障壁層にはGaAsが良く用いられている。また、Nを含まない高歪みGaInAs量子井戸活性層を用いて140K~170Kと良好な温度特性の報告がある(例えば、非特許文献3参照)。障壁層にはGaAsが用いられている。

【0010】

しかし、このように大きな圧縮歪を有している場合、二次元成長から三次元成長に変わ

10

20

30

40

50

る実質的な臨界膜厚に近い厚さを成長させる必要があり、このための工夫が必要である。従来では、低温成長法（例えば、特許文献2参照）や、Sbを添加しサーファクタント的な効果を得る方法（例えば、特許文献3参照）が提案されているが、結晶欠陥の発生を抑えるために量子井戸数の制限があるなど、デバイス設計の制限が生じる。

【0011】

これを改善する方法として、基板より格子定数が小さくNを含んだGa_dIn_{1-d}N_eP_fAs_{1-e-f}系材料（例えば、特許文献4参照）、GaNPAs又はGaNA_s層（例えば、特許文献5参照）、GaNA_s層（例えば、特許文献3参照）、GaNA_sSb（例えば、非特許文献4参照。）を障壁層として、活性層の歪を低減（補償）する歪補償構造が提案されている。具体的なN組成としては、特許文献2ではGaInNA_sSb井戸層0.9%とGaNA_s障壁層1.8%の組み合わせ、非特許文献4ではGaInNA_sSb井戸層1.7%とGaNA_sSb障壁層2%の組み合わせ、特許文献5ではGaInNA_s井戸層、GaNA_s障壁層とも2%となっており、障壁層のN組成の方が大きい井戸層と同じになっている。また、同一素子内に複数形成されている障壁層のN組成は全て同じ組成となっている。

10

【0012】

障壁層にNを添加した材料を用いる理由としては、特許文献4では、歪補償層を形成し活性層の歪みを低減するため、及び、井戸層と障壁層の界面の制御を容易に行うためと述べられている。また、特許文献5では、歪補償層を形成し活性層の歪みを低減するためと述べられている。また、特許文献3では、伝導帯バンド不連続を小さくして量子準位を下げ、長波長化させるため、及び井戸層と障壁層の両方にNが添加されているとホモエピタキシャルに近づくので結晶性が向上するためと述べられている。

20

【0013】

GaAsに対してNを添加すると格子定数が小さくなる。また、GaAsにNを添加したGaNA_sはGaInNA_s系量子井戸活性層との伝導帯バンド不連続が小さくなり量子準位エネルギーが下がるので、発振波長を長波長化する効果がある。よって、量子井戸活性層において必要な波長を得るためのN組成を低減することができ、活性層の品質を向上させることができると考えられる。

【0014】

しかしながら、障壁層のN組成が大きくなると、GaInNA_s系量子井戸活性層の結晶性が低下し、閾値電流の増加などが生じる欠点があった。

30

【0015】

本発明は、GaInNA_s系量子井戸活性層と、量子井戸活性層と同様に窒素（N）と他のV族元素とを同時に含んだ障壁層とを用いた半導体発光素子において、閾値電流の増加を防止して低閾値化を図ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0016】

請求項1記載の発明は、窒素（N）と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、前記下層障壁層及び上層障壁層は、前記下層障壁層及び上層障壁層の組成が、少なくとも、GaNA_s、GaNPAs、GaInNA_s、GaInNPAs、GaNA_sSb、GaNPAsSb、GaInNA_sSb、GaInNPAsSbの何れか一つであり、かつ、前記上層障壁層のN組成が前記下層障壁層のN組成よりも大きい。

40

【0017】

請求項2記載の発明は、請求項1記載の半導体発光素子において、前記活性層は、多重量子井戸構造からなり、最下層となる量子井戸層の下層に形成される下層障壁層のN組成より、最上層となる量子井戸活性層の上層に形成される上層障壁層のN組成が大きい。

【0019】

請求項3記載の発明は、請求項1又は2記載の半導体発光素子において、前記量子井戸

50

活性層は、圧縮歪を有し、前記障壁層は、引っ張り歪を有する。

【0020】

請求項4記載の発明は、請求項1ないし3の何れか一記載の半導体発光素子において、当該半導体発光素子は、前記活性層の上層及び下層に上層反射鏡及び下層反射鏡が設けられた共振器構造を有する面発光型半導体レーザである。

【0021】

請求項5記載の発明は、GaAs基板上に、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層と、当該活性層の上層及び下層に設けられた上層反射鏡及び下層反射鏡を含む共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、前記下層障壁層及び上層障壁層は、前記下層障壁層及び上層障壁層の組成が、少なくとも、GaNAs、GaNPA s、GaInNAs、GaInNPA s、GaNAsSb、GaNPA sSb、GaInNAsSb、GaInNPA sSbの何れか一つであり、前記上層障壁層のN組成が前記下層障壁層のN組成よりも大きく、かつ、前記反射鏡と前記活性層との間のスペーサ層は主にGaAsよりバンドギャップの大きい材料からなる。

10

【0022】

請求項6記載の発明は、請求項5記載の面発光型半導体レーザにおいて、前記GaAsよりバンドギャップの大きい材料は、GaInP(As)又はAlGaAsである。

【0023】

請求項7記載の発明の面発光型半導体レーザアレイは、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザが同一基板上に複数個配列させて搭載されている。

20

【0024】

請求項8記載の発明の光送信モジュールは、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【0025】

請求項9記載の発明の光送受信モジュールは、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

【0026】

請求項10記載の発明の光通信システムは、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として備える。

30

【発明の効果】

【0027】

請求項1又は2記載の発明によれば、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、これらの障壁層は、障壁層の組成が、少なくとも、GaNAs、GaNPA s、GaInNAs、GaInNPA s、GaNAsSb、GaNPA sSb、GaInNAsSb、GaInNPA sSbの何れか一つであり、かつ、上層障壁層のN組成を下層障壁層のN組成よりも大きくしたので、障壁層に窒素(N)を添加した効果を維持しつつ、以下の効果を得ることができる。つまり、量子井戸活性層の結晶性への影響の大きい下層障壁層のN組成のみ小さくし、影響の小さい上層障壁層のN組成は相対的に大きくしているため、量子井戸活性層成長時の下地の悪影響を低減するとともに、上下とも小さいN組成とした場合に比べて量子井戸活性層のN組成を低減でき、極めて低閾値での動作を可能にすることができる。

40

【0028】

請求項3記載の発明によれば、障壁層にNを添加することで、GaAsに対して引張り歪み層とすることができ、圧縮歪みの量子井戸活性層を用いた場合に、歪補償構造を形成可能であり、歪みの低減効果により、素子の信頼性を向上させることができる。

【0029】

請求項4記載の発明によれば、請求項1ないし3の何れか一記載の半導体発光素子において、当該半導体発光素子が面発光型半導体レーザ素子であるので、面発光型半導体レー

50

ザは端面発光型半導体レーザに比べて、低価格化，低消費電力化，小型化，2次元集積化に好適となる。ここで、GaInNAs系材料を活性層にしているのので、シリカファイバの伝送ロスが小さく整合性が良い1.3 μm帯，1.55 μm帯の波長に対応でき、また、面発光型半導体レーザは、端面発光型レーザと比べて共振器長が極端に短く、利得領域が小さいので、閾値電流密度は大きくなり易いが、本発明によれば極めて低閾値電流動作可能となり、高出力であり、温度特性が良い面発光型半導体レーザを実現することができる。なお、MOCVD法で形成すると、面発光レーザ型半導体の半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗を低減できるので、低電圧駆動が可能となり、より一層好ましく、これにより、安価で、距離を気にしないで、光ネットワーク，光配線の大容量化を図ることができる。

【0030】

10

請求項5，6記載の発明によれば、面発光型半導体レーザにおいて、反射鏡と活性層との間のスペーサ層は主にGaAsよりバンドギャップの大きい材料からなるので、閾値電流密度が大きくなり易い面発光型半導体レーザにおいても量子井戸活性層からスペーサ層にあふれる電子を低減でき、低閾値電流で温度特性の良好な面発光レーザを得ることができる。なお、GaAsよりバンドギャップの大きい材料として、例えばGaInPAs又はAlGaAsで構成することができる。

【0031】

請求項7記載の発明によれば、閾値上昇が抑えられた、高出力動作可能な面発光型半導体レーザを同一基板上に多数集積することで、例えば、光通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。さらに、面発光型半導体レーザは低消費電力で動作するので、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減させることもできる。

20

【0032】

請求項8記載の発明によれば、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として用いた光送信モジュールであるので、冷却素子が不要な低コストの光送信モジュールを実現することができる。

【0033】

請求項9記載の発明によれば、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として用いた光送受信モジュールであるので、冷却素子が不要な低コストの光送受信モジュールを実現することができる。

30

【0034】

請求項10記載の発明によれば、請求項4又は5記載の面発光型半導体レーザ又は請求項7記載の面発光型半導体レーザアレイを光源として用いた光通信システムであるので、冷却素子が不要な低コストの光ファイバ通信システム，光インターコネクションシステムなどの光通信システムを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0035】

本発明を実施するための最良の形態について図面を参照して説明する。

【0036】

[第一の実施の形態]

40

本実施の形態は、本発明の半導体発光素子の原理的構成例及びその動作例に関するものである。

【0037】

(1) 第一の構成例

まず、本実施の形態の半導体発光素子は、第一の構成例として、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層を有する半導体発光素子において、下層障壁層及び上層障壁層は、量子井戸活性層と同様に、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含み、かつ、上層障壁層のN組成が下層障壁層のN組成よりも大きい構成とされている。

【0038】

50

GaAsに対して窒素Nを1%添加した材料では、バンドギャップは156meV小さくなり、かつ、伝導帯は175meV下がり、価電子帯は19meV下がる(Kitatani等による文献「16th Semiconductor Laser Symposium」を参照)。このようにわずかのN組成で伝導帯が大きく低下することが判る。また、閃亜鉛構造のGaNの格子定数は4.5オングストロームであるので、GaAsに対してN1%当たり0.204%の引張り歪みとなる。

【0039】

まず、第一の構成例では、障壁層にNを添加したことにより、次の効果は維持される。即ち、障壁層と量子井戸活性層との間で良好な界面が得られる。具体的に、GaInNAs系材料をMOCVD法で成長する場合は、Nの原料の供給量はAsの原料の供給量に対してモル比(「N原料」/(「N原料」+「As原料」))が0.9を超えるほど大きくしなければならず、Nの原料は多量に供給する必要があり、原料供給のON, OFF時の制御性、つまり界面の制御性を良くすることは難しい。また、MBE法で成長する場合は、N原料をRF等で活性化させて供給するため、ON, OFFを急峻に行うことは容易ではなく、MOCVD法と同様に、界面の制御性を良くすることは難しい。しかしながら、障壁層にもNが添加された構造であると、この界面で原料供給のON, OFFの必要がなく、良好な界面を制御して得ることが容易となる。

【0040】

障壁層にNを添加すると、バンドギャップが小さくなり、同一波長を得る場合の量子井戸活性層のN組成を低減することができる。また、本発明者らの実験によると、Nを添加しない場合に比べて閾値が大幅に低減できることが判った。しかしながら、N組成が大きくなるほど、特に量子井戸活性層のN組成よりも大きくなると、閾値電流が増加してしまうことが本発明者らの実験により判った。表1にGaInNAsを量子井戸活性層とした端面型ストライプレーザにおける閾値電流密度を示す。障壁層はGaAs、GaNAsを用いた。GaNAsのN組成は3種類とした。障壁層にNを含ませたことにより閾値電流密度が大幅に低減していることが判る。また、障壁層のN組成が大きいと閾値電流密度が増加することが判る。なお、GaNAs障壁層のN組成が0.8%の場合、0.27%の場合に比べて閾値電流密度がわずかに大きくなっているが、量子井戸活性層のN組成に違いがあり、別途同一組成とした比較では、0.8%と0.27%とで両者の閾値電流密度は同等であることを確認しており、障壁層のN組成は量子井戸活性層のN組成より小さいことが好ましいことが判った。

【0041】

【表1】

障壁層材料	井戸層のN組成(%)	発振波長 (nm)	閾値電流密度 (kA/cm ²)
GaAs	0.93	1300	2.5
GaNAs(N:0.27%)	0.83	1265	0.88
GaNAs(N:0.8%)	0.93	1288	1.09
GaNAs(N:1.3%)	0.85	1277	1.51

【0042】

エピタキシャル成長では下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。障壁層のN組成が小さい場合、量子井戸活性層成長時の下地層となる障壁層の結晶性が向上する。よって、量子井戸活性層の結晶性が向上する。しかしながら、障壁層のN組成を小さくすると量子井戸活性層との伝導帯バンド不連続が大きくなり量子準位が大きくなるので、同一波長を得る場合の量子井戸活性層のN組成低減量が小さくなる。

【0043】

そこで、第一の構成例では、量子井戸活性層に対して上層に位置する上層障壁層のN組成が量子井戸活性層に対して下層に位置する下層障壁層のN組成よりも大きいことを特徴としている。つまり、量子井戸活性層の結晶性への影響の大きい下層障壁層のN組成のみ

10

20

30

40

50

小さくし、影響の小さい上層障壁層のN組成は相対的に大きくしている。これにより、量子井戸活性層成長時の下地の悪影響を低減するとともに量子井戸活性層のN組成を低減できるので、極めて低閾値での動作が可能になる。

【0044】

ちなみに、特許文献6によれば、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含む量子井戸活性層を有し、障壁層にPとSbとを同時に含み、さらには、当該障壁層に窒素(N)を同時に含む場合がある点について開示されている。即ち、特許文献6の提案によれば、上述の第一の構成例と同様に、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含む量子井戸活性層を有し、かつ、障壁層も窒素(N)と他のV族元素を同時に含む場合がある構成例が提案されている。しかしながら、特許文献6においては、窒素(N)と他のV族元素を同時に含む障壁層のN組成として、その実施例2中に記載されているように、障壁層が計5層あるにもかかわらず、0.8%とされており、これは、同一組成であることを意味し、特許文献2, 4等の場合と同様に、量子井戸活性層のN組成より大きくなっている。一般的にも、複数の量子井戸活性層や複数の障壁層からなる多重量子井戸活性層は、通常同じ組成で用いられる。ここに、障壁層のN組成は、上述したように、大きいより小さい方が低閾値電流密度が得られ好ましい。これは、窒素(N)と他のV族元素とを同時に含む半導体は、一般に、N組成が大きくなると結晶性が悪くなることに起因していると考えられる。しかしながら、障壁層のN組成が小さいと、障壁層と量子井戸活性層の伝導帯バンド不連続が大きくなるので同一波長を得るためには量子井戸活性層のN組成は大きくしなければならなくなる。そこで、上層障壁層及び下層障壁層のN組成を共に下げれば、結果として量子井戸活性層のN組成が若干大きくなるデメリットを超えてメリットがあるが、当該第一の構成例では、より改善しているものである。

【0045】

即ち、第一の構成例では、上記N組成の小さな障壁層により低閾値化された寄与度として、上層障壁層より下層障壁層の寄与度が大きいと考えたものである。半導体レーザでは量子井戸活性層の結晶性が最も重要であり、エピタキシャル成長では下地の結晶性を反映する傾向がある。従って、量子井戸活性層下層の障壁層の結晶性が、上層障壁層より重要であると考えられる。従って、第一の構成例のように、下層障壁層のN組成を小さくし、上層障壁層のN組成を大きくすると、特許文献6の如く共に大きい場合や、共に小さい場合の各々のメリットのみを活かすことができる。つまり、量子井戸活性層のN組成を小さくできるので、共に小さい場合よりさらに低閾値化できることとなる。

【0046】

なお、量子井戸活性層のN組成よりも障壁層のN組成を小さくすることは特にMBE法では容易ではない。MBE法の場合は通常シャッターのON、OFFによってヘテロ構造を形成する。例えば、GaInNAsとGaAsのヘテロ構造を形成する場合はGaのシャッターのON、OFFで行う。従って、成長速度はGaInNAsの方が速い。MBE法では成長速度が小さい場合、N組成は大きくなる。更に、N取り込まれのIn組成依存性は小さいので、GaAs障壁層の方がN組成は大きくなってしまふ。成長速度を変える場合は原料セルの温度を変えて原料の供給量を制御する必要があるが、時間を要するため、成長中断時間を設けた場合の最適化が必要であるなど容易ではない。この場合、Ga原料セルを複数設け各々のセルで供給量を変えることを可能とした装置構成として、量子井戸活性層成長に用いるセルのGa供給量が障壁層成長に用いるセルのGa供給量より少なくし、GaInNAsとGaAsとで切り替えて成長することで対応できる。また、MOCVD法の場合はN取り込まれのIn組成依存性が極めて大きく、In組成とともにN取り込まれ効率は急激に小さくなっていくので、特に、As、Nの原料供給量比を大きく変えてやる必要がある。この場合は原料ガス供給量を応答速度の速いマスフローコントローラで制御して成長することで可能である。

【0047】

このような障壁層の組成としては、具体的には、GaAs、GaNPAs、GaInNAs、GaInNPAs、GaAsSb、GaNPAsSb、GaInNAsSb、

10

20

30

40

50

G a I n N P A s S b などにより形成されている。

【 0 0 4 8 】

また、複数の量子井戸活性層と複数の障壁層とからなる多重量子井戸活性層の場合は、最上層の量子井戸活性層の上層に形成される上層障壁層の N 組成を、それより下層の障壁層の N 組成に対して大きくすることで達成できる。なお、障壁層は複数の層から構成されていても良い。要は、量子井戸活性層の下層にあって一番近い層の N 組成が、量子井戸活性層の上層にあって一番近い層の N 組成より小さければ良い。

【 0 0 4 9 】

(2) 第二の構成例

本実施の形態の半導体発光素子は、第二の構成例として、障壁層に N を添加することで、G a A s に対して引張り歪み層とすることができる。圧縮歪みの量子井戸活性層を用いた場合に、歪補償構造を形成可能であり、歪みの低減効果により、素子の信頼性が向上する。

10

【 0 0 5 0 】

(3) 第三の構成例

本実施の形態の半導体発光素子は、第三の構成例として、上述した第一又は第二の構成例の半導体発光素子を、具体的には、例えば面発光型半導体レーザ素子 (V C S E L : V e r t i c a l C a v i t y S u r f a c e E m i t t i n g L a s e r : 垂直キャビティ面発光型半導体レーザ素子) として構成したものである。

【 0 0 5 1 】

安価で距離を気にしないで、光ネットワーク、光配線の大容量化を図るためには、光源としてシリカファイバの伝送ロスが小さく整合性が良い 1 . 3 μ m 帯、1 . 5 5 μ m 帯の半導体レーザであって、温度特性が良く冷却素子を使用しない半導体レーザが必要である。このような半導体レーザには面発光型半導体レーザ素子 (V C S E L) が極めて有望である。面発光型半導体レーザ素子は、端面発光型レーザに比べて、低価格化、低消費電力化、小型化、2次元集積化に向き、実際に、G a A s 基板上に形成できる 0 . 8 5 μ m 帯では既に高速 L A N である 1 G b i t / 秒のイーサネット (登録商標) などで実用化されている。即ち、面発光型半導体レーザ素子において、G a I n N A s 系材料を活性層にすることで、これらの波長に対応できる。

20

【 0 0 5 2 】

また、面発光型半導体レーザは、端面発光型レーザと比べて共振器長が極端に短く、利得領域が小さいので、閾値電流密度は大きくなり易い。当該第三の構成例によれば、極めて低閾値電流で動作可能となるので、高出力であり、温度特性が良い面発光型半導体レーザを実現できる。なお、M O C V D 法で形成すると、面発光レーザ型半導体の半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗を低減できるので、低電圧駆動が可能となり好ましい。

30

【 0 0 5 3 】

(4) 第四の構成例

本実施の形態の半導体発光素子は、第四の構成例として、面発光型半導体レーザに関するものであり、G a A s 基板上に、窒素 (N) と他の V 族元素とを同時に含んだ量子井戸活性層とその下層及び上層に形成された下層障壁層及び上層障壁層とからなる活性層と、当該活性層の上層及び下層に設けられた上層反射鏡及び下層反射鏡を含む共振器構造を有する面発光型半導体レーザにおいて、下層障壁層及び上層障壁層は、窒素 (N) と他の V 族元素とを同時に含み、上層障壁層の N 組成が下層障壁層の N 組成よりも大きく、かつ、反射鏡と活性層との間のスペーサ層は主に G a A s よりバンドギャップの大きい材料からなることを特徴とする。

40

【 0 0 5 4 】

障壁層に N を添加したことにより、障壁層と量子井戸活性層との間で良好な界面が得られる。また、障壁層に N を添加することで、G a A s に対して引張り歪み層とすることができ、圧縮歪みの量子井戸活性層を用いた場合に、歪補償構造を形成可能であり、歪みの低減効果により、素子の信頼性が向上する。

50

【 0 0 5 5 】

また、GaInNAs系材料を活性層とした面発光型半導体レーザにおいて、活性層と反射鏡との間にあって、活性層に光とキャリアを閉じ込めるとともに共振器長を調整する役割をもつスペーサ層として通常GaAsが用いられている。GaAsとGaInNAs系活性層の伝導帯バンド不連続が大きいと電子を良く閉じ込めることができる。しかしながら、面発光型半導体レーザの場合は端面発光型レーザに比べて発振に必要なキャリア密度は大きく、スペーサ層にあふれる電子が増えるので、スペーサ層と量子井戸活性層との間でより大きな伝導帯バンド不連続が必要である。スペーサ層を主にGaAsよりバンドギャップの大きい材料で構成すると、面発光型半導体レーザにおいても量子井戸活性層からスペーサ層にあふれる電子を低減でき、閾値電流を低減できる。また、温度特性も良好になる。

10

【 0 0 5 6 】

このようにGaAsよりバンドギャップの大きい材料は、例えばGaInP(As)又はAlGaAsで構成することができる。Sb、Nなど他のIII-V族が含まれていても構わない。

【 0 0 5 7 】

[第二の実施の形態]

本発明の第二の実施の形態を図1に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第一の構成例の半導体発光素子をより具体化した構成例に関するものである。図1は、本実施の形態のGaInNAs端面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。なお、図1に示す例では、リッジストライプ型レーザとなっており、かつ、図1に示すGaInNAs端面発光型半導体レーザは、層構造としてはSCH-DQW (Separate Confinement Heterostructure Double Quantum Well) 構造である。

20

【 0 0 5 8 】

本実施の形態のGaInNAs端面発光型半導体レーザは、面方位(100)のn-GaAs基板1上に、Seドープn-GaAsバッファ層2、Seドープn-AlGaAs下層クラッド層3、アンドープGaAs下層光ガイド層4、活性層5、アンドープGaAs上層光ガイド層6、Znドープp-AlGaAs上層クラッド層7、Znドープp-GaAsコンタクト層8が順次成長されている。

【 0 0 5 9 】

ここで、活性層5は、圧縮歪みを有する2層のGaInNAs量子井戸活性層(井戸層)9a, 9b、その上下に形成された引張り歪みを有する3層のGaAs障壁層(障壁層)10a, 10b, 10cとからなっている。井戸層9a, 9bのIn組成xは33%、窒素組成は1.0%とした。また、井戸層9a, 9bの厚さは7nmとした。また、障壁層10a, 10b, 10cについては、基板1側から2つの障壁層10a, 10bのN組成は0.3%、最上層の障壁層10cは1.5%と非対称にした。成長方法はMOCVD法で行った。キャリアガスには、H₂を用いた。また、原料には、TMG(トリメチルガリウム)、TMI(トリメチルインジウム)、AsH₃(アルシン)、PH₃(フォスフィン)を用い、窒素の原料には、DMHy(ジメチルヒドラジン)を用いた。DMHyは低温で分解するので、600以下のような低温成長に適している。本実施の形態では、GaInNAs層を550で成長した。特に歪みの大きい量子井戸層を成長する場合は例えば500~600程度の低温成長が好ましい。GaAs障壁層10a~10cもGaInNAs層と同じ550で成長した。

30

40

【 0 0 6 0 】

そして、フォトリソグラフィとエッチング技術により幅3μmのストライプ領域以外をp-AlGaAsクラッド層7の途中まで除去し、リッジ構造を形成した。そして、このリッジ構造上に、p側電極11を、電流注入部となる部分を除去したSiO₂絶縁膜12を介して形成した。また、基板1の裏面には、n側電極13を形成した。

【 0 0 6 1 】

本実施の形態のGaInNAs端面発光型半導体レーザでは、最上層となる量子井戸活

50

性層 9 b の上層障壁層 1 0 c の N 組成を、他の下層障壁層 1 0 a , 1 0 b の N 組成よりも大きくしている。つまり、量子井戸活性層 9 a , 9 b の結晶性への影響の大きい下層障壁層 1 0 a , 1 0 b の N 組成のみ小さくし、影響の小さい上層障壁層 1 0 c の N 組成は相対的に大きくしている。これにより量子井戸活性層 9 a , 9 b の成長時の下地の悪影響を低減することができる。更に、全ての障壁層 1 0 a ~ 1 0 c の N 組成を小さくする場合に比べて、量子準位が小さくなるので同一波長を得る場合の量子井戸活性層 9 a , 9 b の N 組成を低減でき、量子井戸活性層 9 a , 9 b の結晶性が向上し、発光効率が高く、極めて低閾値での動作が可能になった。

【 0 0 6 2 】

なお、本実施の形態では量子井戸活性層 9 a , 9 b が圧縮歪組成となっているが、格子整合組成や引っ張り歪組成でもこれらの効果が得られる。

10

【 0 0 6 3 】

更に、本実施の形態では、G a A s 光ガイド層 4 , 6 と G a I n N A s 量子井戸活性層 9 a , 9 b との間に、G a N A s バリア層 (障壁層) 1 0 a ~ 1 0 c が歪補償構造となって形成されており、歪みの低減効果により、素子の信頼性が向上した。

【 0 0 6 4 】

上述の例では、M O C V D 法での成長の例を示したが、M B E 法等の他の成長方法を用いることもできる。また、窒素の原料に D M H y を用いたが、活性化した窒素や N H ₃ 等の他の窒素化合物を用いることもできる。また、積層構造として二重量子井戸構造 (D Q W) の例を示したが、他の井戸数とした量子井戸構造を用いることもできる。また、各層の組成厚さ等は必要に応じて設定できる。また、クラッド層 3 , 7 には、A l G a A s 系材料と同様にワイドギャップの A l G a I n P 系材料を用いることもできる。また、レーザの構造も他の構造にしても構わない。

20

【 0 0 6 5 】

[第三の実施の形態]

本発明の第三の実施の形態を図 2 に基づいて説明する。図 1 で示した部分と同一又は対応する部分は同一符号を用いて示し、説明も省略する (以降の実施の形態でも同様とする) 。本実施の形態は、前述の第二の構成例の半導体発光素子をより具体化した構成例に関するものである。図 2 は、本実施の形態の G a I n N A s 端面発光型半導体レーザの構成例を示す原理的断面図である。本実施の形態が第二の実施の形態と異なる点は、活性層 (井戸層) 9 を 1 層とし、その上下に形成した引っ張り歪みを有する下層障壁層及び上層障壁層 1 0 a , 1 0 c を G a N P A s とした点である。量子井戸活性層 9 に対して下層に位置する下層障壁層 1 0 a の N 組成は 0 . 3 % 、 P 組成は 7 % 、上層障壁層 1 0 c の N 組成は 1 . 5 % 、 P 組成は 7 % とした。

30

【 0 0 6 6 】

本実施の形態では、障壁層 1 0 a , 1 0 c として G a N A s に対して更に P を添加している。圧縮歪の量子井戸活性層 9 を用いた場合、G a N A s の場合 N 組成増加で引っ張り歪が大きくなり N 組成を調整することで歪補償構造を最適化することができる。しかし、量子井戸活性層 9 の品質を低下させてしまうので N 組成の上限には限界がある。本実施の形態では障壁層 1 0 a , 1 0 c に P も添加しており、N 組成とは独立に引っ張り歪量を調整できるので十分な引っ張り歪み組成を得ることができ、歪みの低減効果 (歪補償効果) により素子の信頼性が向上した。

40

【 0 0 6 7 】

また、障壁層 1 0 a , 1 0 c に P を添加していることで伝導帯バンド不連続は第二の実施の形態の G a N A s 障壁層の場合より大きくなり、キャリア閉じ込めが良好になった。これにより温度特性の良好な半導体レーザを得ることができた。なお、上層障壁層 1 0 c の N 組成を下層障壁層 1 0 a に比べて相対的に大きくしていることで、過剰に量子準位を高くせず歪みを調整することができ、量子井戸活性層 9 の N 組成を過剰に増加させないで済んだものである。

【 0 0 6 8 】

50

[第四の実施の形態]

本発明の第四の実施の形態を図3に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第三の構成例の半導体発光素子、即ち、面発光型半導体レーザをより具体化した構成例に関するものである。図3は、本実施の形態のGaInNAs面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。

【0069】

本実施の形態の面発光型半導体レーザ素子は、例えば3インチの大きさの面方位(100)のn-GaAs基板21上に、各々の媒質内における発振波長の1/4倍の厚さでn-Al_xGa_{1-x}As(x=0.9)とn-GaAsを交互に35周期積層した周期構造からなるn-半導体分布ブラッグ反射鏡(下層半導体分布ブラッグ反射鏡:単に下層反射鏡ともいう)22が形成されている。

10

【0070】

この下層反射鏡22の上に、アンドープ下層GaAsスペーサ層23, 3層のGaInNAs井戸層24と4層のGaAs障壁層25a~25dからなる多重量子井戸活性層26, アンドープ上層GaAsスペーサ層27が積層形成されている。

【0071】

そして、その上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡(上層半導体分布ブラッグ反射鏡:単に上層反射鏡ともいう)28が形成されている。上層反射鏡28は、Cドープのp-Al_xGa_{1-x}As(x=0.9)とp-GaAsを各々の媒質内における発振波長の1/4倍の厚さで交互に積層した周期構造(例えば、25周期)で構成されている。なお、上層反射鏡28中の活性層26に近い位置には、AlAsからなる被選択酸化層29が例えば30nmの厚さで設けられている。また、上層反射鏡28の最上層のGaAs層は、p電極30とのコンタクトを取るコンタクト層31を兼ねている。

20

【0072】

本実施の形態では、活性層26内の井戸層24のIn組成xは33%, 窒素組成は1.0%とした。また、井戸層24は、厚さが7nmであり、GaAs基板21に対して約2.1%の圧縮歪(高歪)を有していた。また、GaAs障壁層25は、下から3つの障壁層(下層障壁層)25a~25cのN組成は0.8%、最上層に位置する上層障壁層25dのN組成は1.5%とした。

【0073】

成長方法はMOCVD法で行なった。キャリアガスには、H₂を用いた。また、GaInNAs活性層26の原料には、TMG(トリメチルガリウム), TMI(トリメチルインジウム), AsH₃(アルシン)を用い、そして、窒素の原料には、DMHy(ジメチルヒドラジン)を用いた。DMHyは低温で分解するので、600以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層24を成長する場合好ましい原料である。本実施の形態のGaInNAs面発光型半導体レーザ素子の活性層26のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。本実施の形態では、GaInNAs井戸層24は540で成長させた。

30

【0074】

本実施の形態では、所定の大きさのメサを少なくともp-AlAs被選択酸化層29の側面を露出させて形成し、側面の現れたAlAsを水蒸気で側面から酸化してAl_xO_y電流狭窄部32を形成した。次に、ポリイミドでエッチング部33を埋め込んで平坦化し、pコンタクト層31と光出射部のある上層反射鏡28上のポリイミドを除去し、pコンタクト層31上の光出射部以外にp側電極30を形成し、また、基板21の裏面にn側電極34を形成した。35はSiO₂絶縁膜である。

40

【0075】

作製した面発光型半導体レーザ素子の発振波長は約1.3μmであった。GaInNAsを活性層26に用いたので、GaAs基板21上に長波長帯の面発光型半導体レーザ素子を形成できた。

【0076】

50

また、エピタキシャル成長では、下地の結晶品質が成長層の成長品質に及ぼす影響は大きい。量子井戸活性層 26 の下層側に位置する下層障壁層 25 a ~ 25 c の N 組成が小さい場合、特に量子井戸活性層 26 の N 組成よりも小さい場合、量子井戸活性層 26 の成長時の下地層となる下層障壁層 25 a ~ 25 c の結晶性が向上することになり、量子井戸活性層 26 の結晶性が向上する。また、最上層に位置する上層障壁層 25 d の N 組成は相対的に大きくしており、全ての障壁層 25 a ~ 25 d の N 組成を小さくする場合に比べて、量子準位が小さくなるので同一波長を得る場合の量子井戸活性層 26 の N 組成を低減できるので、量子井戸活性層 26 の結晶性が更に向上し、発光効率が高く、極めて低閾値での動作が可能になった。

【0077】

10

また、Al と As を主成分とした被選択酸化層 29 の選択酸化により電流狭窄を行ったので、閾値電流は低かった。被選択酸化層 29 を選択酸化した Al 酸化膜からなる電流狭窄層 32 を用いた電流狭窄構造によると、電流狭窄層 32 を活性層 26 に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。さらに酸化して Al 酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、閾値電流は低減される。また、容易に電流狭窄構造を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0078】

20

GaInNAs 等の窒素と他の V 族を含んだ半導体層の作製には MBE 法が主に用いられていたが、原理的に高真空中での成長なので原料供給量を大きくできない。即ち、原料供給量を大きくすると、排気系に負担がかかるというデメリットがある。高真空排気系の排気ポンプを必要とするが、MBE チャンバー内の残留原料等を除去するなどのために排気系に負担がかかり故障しやすいことからスループットは悪い。

【0079】

30

面発光型半導体レーザー素子は、レーザー光を発生する少なくとも 1 層の活性層を含んだ活性領域を半導体多層膜反射鏡 22, 28 で挟んで構成されている。端面発光型レーザーの結晶成長層の厚さが 3 μm 程度であるのに対して、例えば 1.3 μm 波長帯の面発光型半導体レーザー素子では、結晶成長層の厚さとして 10 μm を超える厚さが必要になるが、MBE 法では高真空を必要とすることから原料供給量を高くすることができず、成長速度は 1 μm / 時程度であり、10 μm の厚さを成長するには原料供給量を変えるための成長中断時間を設けないとしても最低 10 時間かかる。

【0080】

活性領域の厚さは全体に比べて通常ごくわずかであり (10% 以下)、ほとんどが多層膜反射鏡 22, 28 を構成する層である。半導体多層膜反射鏡 22, 28 は各々の媒質内における発振波長の 1/4 倍の厚さ (λ/4 の厚さ) で低屈折率層と高屈折率層を交互に積層して (例えば、20 ~ 40 ペア) 形成されている。GaAs 基板 21 上の面発光型半導体レーザー素子では、AlGaAs 系材料を用い Al 組成を変えて低屈折率層 (Al 組成大) と高屈折率層 (Al 組成小) としている。しかし、実際には、特に p 側は各層のヘテロ障壁により抵抗が大きくなるので、低屈折率層と高屈折率層との間に、Al 組成が両者の間となる中間層を挿入して多層膜反射鏡の抵抗を低減している。

40

【0081】

このように、面発光型半導体レーザー素子は、100 層を超える組成の異なる半導体層を成長しなければならない他に、多層膜反射鏡 22, 28 の低屈折率層と高屈折率層との間にも中間層を設けるなど、瞬時に原料供給量を制御する必要がある素子である。しかし、MBE 法では、原料供給量を原料セルの温度を変えて制御しており、臨機応変に組成をコントロールすることができない。よって、MBE 法により成長した半導体多層膜反射鏡は、抵抗を低くするのは困難であり動作電圧が高い。

【0082】

一方、MOCVD 法は、原料ガス流量を制御するだけで良く、瞬時に組成をコントロー

50

ルできるとともに、MBE法のような高真空を必要とせず、また、成長速度を例えば $3 \mu\text{m}/\text{時}$ 以上と高くでき、容易にスループットを上げられることから、極めて量産に適した成長方法である。

【0083】

なお、本実施の形態では、障壁層 25a ~ 25d として GaNAs を用いたが、N と他の V 族を含んでいれば良く、GaNAs, GaNPAs, GaInNAs, GaInNPAs, GaNAsSb, GaNPAsSb, GaInNAsSb, GaInNPAsSb の何れかであって、下層障壁層 25a ~ 25c の N 組成が上層障壁層 25d の N 組成よりも小さい値であれば良い。更には、GaAs よりも格子定数が小さい組成であれば通常用いられる圧縮歪 GaInNAs 系量子井戸活性層 26 を用いた場合に歪補償構造とすることができ、井戸層数を増加可能になり高出力化できるなどの効果があり好ましい。また、量子井戸活性層 26 の N 組成よりも小さい組成であればより好ましい。

10

【0084】

なお、障壁層 25a ~ 25d は複数の層から構成されていても良く、量子井戸活性層 26 に一番近い層の N 組成が量子井戸活性層の N 組成より小さければ構わない。例えば、障壁層を GaNAs と GaPAs の 2 つの材料から構成し、GaNAs を量子井戸活性層 26 に接する層とすることができる。これにより量子井戸活性層 24 と障壁層 25 との界面を良好に形成することと、歪補償することと、伝導帯バンド不連続を大きくすることを独立にコントロールすることができるようになる。

【0085】

20

このように、本実施の形態によれば、低抵抗、低消費電力で低コストの $1.3 \mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザー素子を実現できる。

【0086】

[第五の実施の形態]

本発明の第五の実施の形態を図 4 に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第四の構成例の面発光型半導体レーザーをより具体化した構成例に関するものである。図 4 は、本実施の形態の GaInNAs 面発光型半導体レーザーの構成例を示す原理的断面図である。本実施の形態が、第四の実施の形態と異なる点は、スペーサ層 23, 27 に代えて、スペーサ層 36, 37 を GaInP としたことである。

【0087】

30

GaInNAs 系材料を活性層 26 とした面発光型半導体レーザーにおいて、活性層 26 と反射鏡 22, 28 との間において、活性層 26 に光とキャリアを閉じ込めるとともに共振器長を調整する役割をもつスペーサ層として通常 GaAs が用いられている。GaAs と GaInNAs 系活性層の伝導帯バンド不連続が大きいため電子を良く閉じ込めることができる。しかしながら、面発光型半導体レーザーは端面発光型レーザーに比べて発振に必要なキャリア密度は大きく、スペーサ層にあふれる電子が増えるので、スペーサ層と量子井戸活性層との間でより大きな伝導帯バンド不連続を持つことが好ましい。本実施の形態ではスペーサ層 36, 37 を主に GaAs よりバンドギャップの大きい GaInP で構成したので、面発光型半導体レーザーにおいても量子井戸活性層 26 からスペーサ層 35 にあふれる電子を低減でき、閾値電流を低減できた。また、温度特性も良好になった。

40

【0088】

なお、本実施の形態では、スペーサ層 36, 37 として GaInP を用いたが、 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$ ($0 < x < 1$, $0 < y < 1$) や AlGaAs を用いることができる。また、Sb、N など他の III-V 族が含まれていても構わない。

【0089】

また、本実施の形態では反射鏡 22, 28 で挟まれた共振器部 (上下のスペーサ層 36, 37 と量子井戸活性層 26 と障壁層 25) の厚さを 1 分としたが、2 など $1/2$ の整数倍とすることができる。

【0090】

[第六の実施の形態]

50

本発明の第六の実施の形態を図5に基づいて説明する。本実施の形態は、前述したような面発光型半導体レーザを利用した面発光型半導体レーザアレイに関する。図5は本実施の形態の面発光型半導体レーザアレイの構成例を示す原理的な平面図である。

【0091】

本実施の形態の面発光型半導体レーザアレイ41は、アレイチップ基板42上に前述の各実施の形態で説明したような構成の複数個の面発光型半導体レーザ43を一行（1次元）に配列させて搭載させることにより構成されている。44は各面発光型半導体レーザ43毎に設けられた電極パッドである。ただし、本実施の形態では、面発光型半導体レーザ43に関して前述した構成例の場合とはpとnとが逆とされている。即ち、p型GaAs半導体基板上に形成されており、表面にn側個別電極、裏面にp側共通電極が形成されている。なお、面発光型半導体レーザアレイ41を構成する上で、面発光型半導体レーザ43は2次元配列であっても構わない。

10

【0092】

本実施の形態によれば、閾値上昇が抑えられた、高出力動作可能な面発光型半導体レーザ43を同一基板42上に多数集積することで、例えば、光通信に応用した場合、同時に多数ビームによるデータ伝送が可能となるので高速通信ができる。さらに、面発光型半導体レーザは低消費電力で動作するので、特に機器の中に組み込んで利用した場合、温度上昇を低減させることもできる。

【0093】

[第七の実施の形態]

本発明の第七の実施の形態を図6に基づいて説明する。本実施の形態は、前述の第六の実施の形態で説明した面発光型半導体レーザアレイ41を光源として安価なシリカファイバ（光ファイバ）51とを組み合わせた光送信モジュール52への適用例を示し、図6はその構成例を示す概要図である。

20

【0094】

本実施の形態の光送信モジュール52では、各面発光型半導体レーザ43からのレーザ光が対応する光ファイバ51に入力され、伝送される。ここで、光ファイバ51には、シングルモードファイバを用いている。光通信の分野では、同時により多くのデータを伝送するために、複数の半導体レーザが集積したレーザアレイを用いた並列伝送が試みられている。本実施の形態では、シングルモード高出力面発光レーザを用いているので、高速な並列伝送が可能となり、従来よりも多くのデータを同時に伝送できるようになる。

30

【0095】

さらに、本発明による面発光型半導体レーザ43を光通信システムに用いると、低コストで信頼性が高い光送信モジュールを実現できる他に、これを用いた低コスト、高信頼性の光通信システムを実現できる。また、GaInNAsを用いた面発光型半導体レーザ43は、温度特性が良いこと、及び、低閾値であることにより、発熱が少なく高温まで冷却なしで使えるシステムを実現できる。

【0096】

さらに、本実施の形態では、面発光型半導体レーザ43と光ファイバ51とを1対1に対応させたが、発振波長の異なる複数の面発光型半導体レーザ素子を1次元又は2次元にアレイ状に配置して、波長多重送信することにより、伝送速度を更に増大することが可能となる。

40

【0097】

[第八の実施の形態]

本発明の第八の実施の形態を図7に基づいて説明する。本実施の形態は、前述したような面発光型半導体レーザ43を光源とし、受信用フォトダイオード61を受光素子とし、光ファイバ62と組み合わせた光送受信モジュール63への適用例を示し、図7はこの光送受信モジュール63の構成例を示す概要図である。

【0098】

前述したような面発光型半導体レーザ43を光通信システムに用いる場合、面発光型半

50

導体レーザ 43 は低コストであるので、図 7 に示すように送信用の面発光型半導体レーザ 43 (1.3 μm 帯 GaInNAs 面発光型半導体レーザ素子) と、受信用フォトダイオード 61 と、光ファイバ 62 とを組み合わせた光送受信モジュール 63 を用いた低コストの光通信システムを実現できる。また、GaInNAs を用いた面発光型半導体レーザ 43 は、温度特性が良いこと、動作電圧が低いこと、及び、低閾値であることにより、発熱が少なく、高温まで冷却なしで使えるより低コストのシステムを実現できる。

【0099】

さらに、1.3 μm 等の長波長帯で低損失となるフッ素添加 POF (プラスチック光ファイバ) と GaInNAs を活性層に用いた面発光型半導体レーザとを組み合わせると、ファイバが低コストであること、ファイバの径が大きくてファイバとのカップリングが容易で実装コストを低減できることから、極めて低コストのモジュールを実現できる。

10

【0100】

本実施の形態の面発光型半導体レーザを用いた光通信システムとしては、光ファイバを用いた長距離通信に用いることができるのみならず、LAN (Local Area Network) などのコンピュータ等の機器間伝送、さらには、ボード間のデータ伝送、ボード内の LSI 間、LSI 内の素子間等、光インターコネクションとして短距離通信に用いることができる。

【0101】

近年、LSI 等の処理性能は向上しているが、これらを接続する部分の伝送速度が今後ボトルネックとなる。システム内の信号接続を従来の電気接続から光インターコネクトに変えると (例えば、コンピュータシステムのボード間、ボード内の LSI 間、LSI 内の素子間等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続すると)、超高速コンピュータシステムが可能となる。

20

【0102】

また、複数のコンピュータシステム等を本発明に係る光送信モジュールや光送受信モジュールを用いて接続すると、超高速ネットワークシステムが構築できる。特に、面発光型半導体レーザ素子は端面発光型レーザに比べて桁違いに低消費電力化でき、2次元アレイ化が容易なので、並列伝送型の光通信システムに適している。

【0103】

以上説明したように、窒素を含んだ半導体層である GaInNAs 系材料によると、GaAs 基板を用いた 0.85 μm 端面発光型半導体レーザ素子などで実績のある Al(Ga)As / (Al)GaAs 系半導体多層膜分布ブラッグ反射鏡や、AlAs の選択酸化による電流狭窄構造が適用でき、また、本発明を採用することにより、実用レベルの高性能の 1.3 μm 帯等の長波長端面発光型半導体レーザ素子を実現でき、さらにこれらの素子を用いると、冷却素子不要で低コストの光ファイバ通信システム、光インターコネクションシステムなどの光通信システムを実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0104】

【図 1】本発明の第二の実施の形態の GaInNAs 端面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。

40

【図 2】本発明の第三の実施の形態の GaInNAs 端面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。

【図 3】本発明の第四の実施の形態の GaInNAs 面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。

【図 4】本発明の第五の実施の形態の GaInNAs 面発光型半導体レーザの構造例を示す原理的断面図である。

【図 5】本発明の第六の実施の形態の面発光型半導体レーザアレイの構成例を示す原理的な平面図である。

【図 6】本発明の第七の実施の形態の光送信モジュールの構成例を示す概要図である。

【図 7】本発明の第八の実施の形態の光送受信モジュールの構成例を示す概要図である。

50

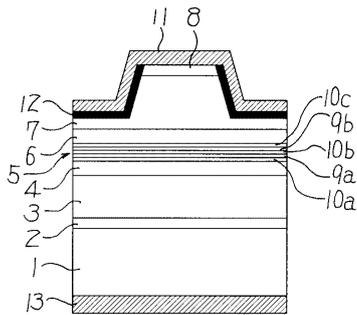
【図8】本発明者が実験的に求めた閾値電流密度の窒素組成依存性を示す図である。

【符号の説明】

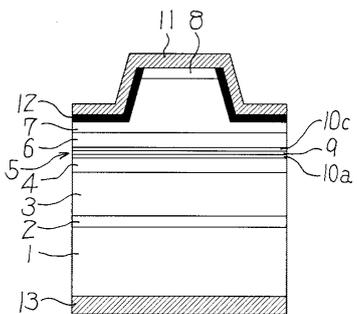
【0105】

- 5 活性層
- 9 量子井戸活性層
- 10 a 下層障壁層
- 10 c 上層障壁層
- 2 1 GaAs 基板
- 2 2 下層反射鏡
- 2 3 スペース層
- 2 4 量子井戸活性層
- 2 5 a ~ 2 5 c 下層障壁層
- 2 5 d 上層活性層
- 2 6 活性層
- 2 7 スペース層
- 3 6 , 3 7 スペース層
- 4 1 面発光型半導体レーザアレイ
- 4 3 面発光型半導体レーザ

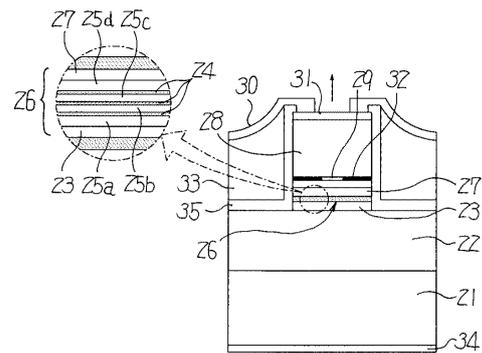
【図1】



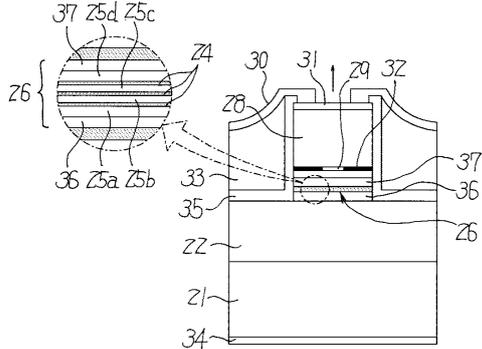
【図2】



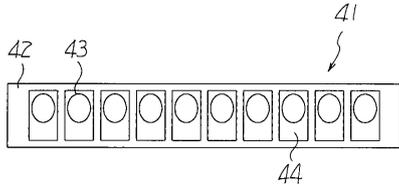
【図3】



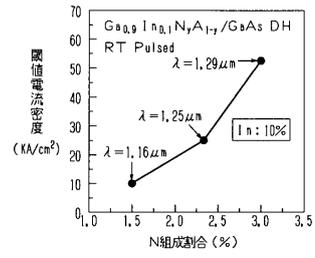
【図4】



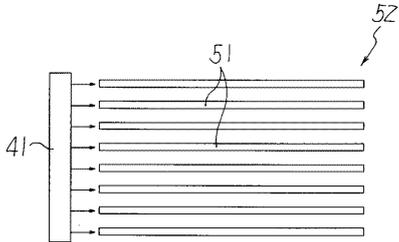
【 図 5 】



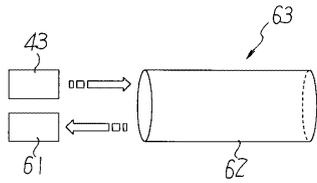
【 図 8 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

審査官 松崎 義邦

(56)参考文献 特開2004 - 200647 (JP, A)
特開2003 - 017812 (JP, A)
特開2001 - 358409 (JP, A)
特開2000 - 232259 (JP, A)
特開2004 - 320038 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S5/00 - 5/50

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)